

**COUCHE SEMICONDUCTRICE MONOCRISTALLINE A MACRORESEAU  
HETEROATOMIQUE**

Domaine de l'invention

La présente invention concerne la fabrication d'une couche semiconductrice monocristalline comportant des nanostructures ou "boîtes quantiques" d'un premier matériau semiconducteur monocristallin dans un second matériau semiconducteur monocristallin. Plus particulièrement, la présente invention concerne la réalisation de nanostructures dans un substrat de silicium.

Exposé de l'art antérieur

De telles nanostructures ou "boîtes quantiques" sont, par exemple, décrites dans le document "Ge/Si self-assembled quantum dots grown on Si (100) in an industrial high-pressure chemical vapor deposition reactor" de C. Hernandez, Y. Campidelli, D. Simon, D. Bensahel, I. Sagnes, G. Patriarche, P. Boucaus et S. Sauvage, paru dans J. Appl. Phys., 86/2, 1999, 1145-1148. Elles sont utilisées dans de très nombreux domaines d'application. Par exemple, dans le domaine des télécommunications, on utilise de façon croissante des systèmes à base de fibres optiques. Pour ce faire, on recourt à des émetteurs propres à convertir une différence de potentiel en un signal lumineux et à des récepteurs propres à convertir un

signal lumineux transmis par une fibre optique en un signal électrique. Le signal lumineux émis et/ou reçu est généralement situé dans une plage de longueurs d'onde comprise entre 1,4 et 1,5  $\mu\text{m}$ .

5           Jusqu'à une période récente, on a utilisé, pour réaliser de tels récepteurs et/ou émetteurs optiques, des combinaisons de matériaux des colonnes III et V de la classification périodique des éléments. Par exemple, l'arséniure de gallium (AsGa) ou le phosphure d'indium (InP). On  
10           préférait toutefois utiliser des matériaux à base de silicium, mais le recours au silicium pose différents problèmes. Tout d'abord l'intervalle de bande d'énergie du silicium entre ses bandes de valence et de conduction est relativement faible et les transitions sont de type "indirect". Par "indirect", on  
15           entend que le passage d'un électron de la bande de valence à la bande de conduction se fait en plusieurs sauts et non en un seul saut comme dans le cas des combinaisons de matériaux des colonnes III et V. Le silicium est alors presque inutilisable comme émetteur, c'est-à-dire convertisseur d'énergie électrique  
20           en énergie lumineuse. En effet, du fait du caractère indirect des transitions électroniques, celles-ci sont fortement dissipatrices et très faiblement émettrices. En outre, l'intervalle de bande d'énergie relativement faible, de l'ordre de 1,1 eV, correspond à une émission de photons d'une longueur  
25           d'onde inférieure à 1  $\mu\text{m}$ , peu utilisée dans le domaine des télécommunications.

          On a donc proposé d'améliorer les propriétés optiques, c'est-à-dire d'émission et de réception, du silicium en formant des structures constituées d'un réseau de silicium  
30           monocristallin comportant des nanostructures (boîtes quantiques) monocristallines de germanium.

          Pour obtenir des performances acceptables, par exemple un émetteur/récepteur d'une émissivité/réceptivité convenable, il est souhaitable de pouvoir réaliser plusieurs plans  
35           superposés contenant chacun plusieurs nanostructures.

Comme l'expose l'article cité précédemment, la formation de nanostructures résulte d'un mécanisme de contrainte entre des mailles cristallographiques de dimensions différentes, mais relativement voisines, de deux semiconducteurs. On a montré -  
5 que ce procédé de croissance, dit de Stranski-Krastanow, provoque, par exemple, la formation de nanostructures de germanium sur du silicium à partir de divers procédés de dépôt comprenant des épitaxies moléculaires, des dépôts chimiques en phase vapeur sous faible pression, ou des dépôts chimiques en  
10 phase vapeur sous vide important.

Plus particulièrement, pour former des boîtes quantiques de germanium dans du silicium, on effectue, par exemple, une épitaxie par injection continue de germane ( $\text{GeH}_4$ ), sur un substrat de silicium monocristallin. Les quelques  
15 premières épaisseurs atomiques déposées forment une couche dont la surface est régulière mais non homogène. En raison des contraintes liées aux différences des réseaux cristallins, la surface présente une allure "ondulatoire" de type sinusoïdal. En d'autres termes, la surface supérieure d'une couche de germanium  
20 de quelques épaisseurs atomiques, formée sur du silicium, présente des creux et des bosses répartis de façon régulière. On désignera une telle structure comme étant un plan ondulé de germanium. L'injection de germane se poursuivant, les contraintes cristallographiques - déformations du réseau naturel  
25 du germanium - provoquent la croissance de nanostructures. Cette injection doit être interrompue quand les nanostructures ou boîtes ont atteint une dimension souhaitée, avant que ne se produise une coalescence des nanostructures, puis la formation d'une couche continue contenant des dislocations.

30 On procède ensuite à une croissance épitaxiale d'une couche de silicium qui encapsule les nanostructures de germanium.

La figure 1 illustre, en vue en coupe partielle et schématique, le résultat de la mise en oeuvre répétée d'un tel  
35 procédé. Par exemple, on a formé, sur un substrat de silicium 1,

trois plans ondulés de nanostructures (boîtes quantiques) de germanium 3 encapsulées dans du silicium 5.

La figure 2 illustre, en vue de dessus partielle et schématique, l'un quelconque des plans ondulés 3 de la figure 1.

5 On cherche à obtenir des densités de nanostructures aussi élevées que possible ( $\geq 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ) et une dispersion de dimension aussi faible que possible. Toutefois, comme l'illustrent très schématiquement les figures 1 et 2, la mise en oeuvre courante du procédé de croissance contrainte de Stranski-  
10 Krastanow conduit à des structures de nanostructures notamment en ce qui concerne la dispersion des dimensions (diamètre) des nanostructures quand le nombre de plans ondulés formés croît.

En particulier, le choix des conditions de l'épitaxie doit alors satisfaire à un compromis. En effet, ces conditions  
15 doivent être choisies pour que l'épitaxie ne soit pas trop lente car, dans ce cas, les risques liés à la présence d'impuretés inévitables (apportées par les précurseurs gazeux et/ou liées au taux de fuite du réacteur) augmentent. Par contre, si la vitesse de croissance des nanostructures de germanium est trop  
20 importante, le processus devient difficilement contrôlable. En effet, cette croissance doit être interrompue de façon précise comme on l'a indiqué précédemment.

Ainsi, on définit pour des conditions données de pression, de débit, et de dilution des gaz, dans un réacteur  
25 d'épitaxie de type donné, une température "optimale" qui correspond à une vitesse de croissance "contrôlable" maximum, c'est-à-dire une vitesse aussi rapide que possible pour éviter les défauts susmentionnés, et suffisamment lente pour permettre d'interrompre l'épitaxie de façon précise à un stade souhaité  
30 (par exemple quelques dizaines de couches monoatomiques).

Les présents inventeurs ont déjà proposé de régulariser la répartition des nanostructures d'un plan à un autre et de réduire la dispersion de leurs dimensions en formant des sites de nucléation privilégiés par une injection à la

surface du substrat 1 d'une bouffée de germane avant la croissance du premier plan de nanostructures.

Toutefois, bien que la répartition et la dimension des nanostructures soient améliorées, elles ne sont pas parfaitement régulières. Ainsi, les inventeurs ont constaté que, lors de la formation des quelques plans de nanostructures nécessaires, généralement de cinq à vingt, des sites de nucléation sont "sautés" et remplacés par des dislocations qui croissent verticalement. De plus, tous les sites ne sont pas équivalents, ce qui conduit à une distribution irrégulière et à une dispersion importante des dimensions.

De plus, le caractère doublement hétérogène des structures obtenues jusqu'à présent limite les applications possibles. En particulier, les dispositifs connus présentent une faible émissivité.

La présente invention vise à proposer une couche semiconductrice monocristalline comportant des nanostructures semiconductrices monocristallines réparties régulièrement.

La présente invention vise à proposer une telle couche dans laquelle les nanostructures présentent une dispersion des dimensions restreinte.

#### Résumé de l'invention

Pour atteindre ces objets ainsi que d'autres, la présente invention prévoit une couche monocristalline d'un premier matériau semiconducteur comportant des nanostructures monocristallines d'un second matériau semiconducteur, les nanostructures étant réparties selon un réseau cristallographique régulier à maille tétragonale centrée.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le premier matériau semiconducteur est le silicium et le second matériau semiconducteur le germanium.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la hauteur de la maille tétragonale est égale à la somme de deux valeurs élémentaires égales choisies dans une plage allant de 60

à 80 % du diamètre des nanostructures jusqu'au quadruple du diamètre.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la base plane de la maille tétragonale centrée est sensiblement carrée et présente un côté d'une valeur comprise entre 50 et 300 nm.

La présente invention prévoit également une source lumineuse, comportant une couche selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents associée à un circuit d'excitation électrique.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la source forme une source cohérente.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, la source forme une diode.

La présente invention prévoit également un dispositif de piégeage de lumière, comportant une couche selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

La présente invention prévoit également un photodétecteur, comportant un tel dispositif.

La présente invention prévoit également un diffracteur d'une onde lumineuse ou acoustique, comportant une couche selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

La présente invention prévoit également un filtre optique ou acoustique, comportant une couche selon l'un quelconque des modes de réalisation précédents.

#### Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 décrite précédemment illustre, en vue en coupe partielle et schématique, une structure selon l'état de la technique ;

la figure 2 décrite précédemment illustre, en vue de dessus partielle et schématique, l'un des plans de la structure de la figure 1 ;

la figure 3 illustre, en vue en coupe partielle et schématique, une couche semiconductrice selon la présente invention ;

la figure 4 est une courbe simplifiée de dispersion de nanostructures en fonction d'une épaisseur de silicium ;

la figure 5 illustre, en vue en perspective partielle et schématique, la maille du macroréseau d'une couche selon la présente invention ;

la figure 6 est une courbe simplifiée de distribution de dimensions des nanostructures ; et

la figure 7 illustre un mode d'application d'une couche selon la présente invention.

#### Description détaillée

Par souci de clarté, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle. De plus, de mêmes éléments sont désignés par de mêmes références aux différentes figures.

La présente invention tire profit des études des inventeurs sur des nanostructures d'un premier matériau semiconducteur encapsulées dans une couche d'un second matériau semiconducteur.

En étudiant une structure comprenant de telles nanostructures de germanium encapsulées dans du silicium, les inventeurs ont déterminé une loi de variation des positions relatives des nanostructures de germanium de deux plans successifs en fonction de l'épaisseur de silicium les séparant.

La figure 3 illustre, en vue en coupe partielle et schématique, des plans ondulés de nanostructures de germanium encapsulées dans du silicium. La figure 4 illustre, partiellement et schématiquement, une courbe de dispersion des nanostructures en fonction de l'épaisseur de silicium séparant deux plans de nanostructures.

Les plans ondulés de nanostructures de germanium encapsulées dans du silicium sont obtenus par la répétition de dépôts successifs de germanium sur un substrat semiconducteur monocristallin (par exemple, de silicium), puis de silicium. Le  
5 silicium déposé en second sert de substrat pour le dépôt successif suivant de germanium. Les conditions de l'épitaxie de germanium sont connues, par exemple décrites par Stranski-Krastanow. Les contraintes de la croissance épitaxiale du silicium seront définies ultérieurement.

10 La figure 3 illustre la structure obtenue lorsque, pour des conditions identiques de croissance épitaxiale de nanostructures de germanium, on fixe l'épaisseur  $e_{Si}$  de silicium déposée ensuite par épitaxie et séparant deux plans ondulés de Stranski-Krastanow à une valeur précise choisie dans une plage  
15 prédéterminée. Les conditions d'épitaxie sont choisies pour que les nanostructures aient un diamètre  $D$  d'environ 40 à 200 nm et une hauteur  $H$  d'environ 10 à 30 nm. Les nanostructures prennent appui sur une couche plane de germanium épaisse de quelques nanomètres, typiquement de 2 à 4 nm. La figure 4 illustre le  
20 décalage  $g$  dans le plan de la figure 3 des nanostructures de germanium d'un plan supérieur par rapport à un plan inférieur en fonction de l'épaisseur  $e_{Si}$  de la couche de silicium intermédiaire déposée entre chaque plan.

Comme l'illustrent les figures 3 et 4, lorsque  
25 l'épaisseur  $e_{Si}$  est supérieure au seuil  $T_{Si}$ , le décalage  $g$  est maximal, chaque nanostructure d'un plan supérieur est alors latéralement équidistante, en vue en coupe, de deux nanostructures du plan inférieur. Les inventeurs ont constaté que l'effet de décalage maximal apparaît avant que l'épaisseur  
30  $e_{Si}$  n'atteigne la valeur du diamètre  $D$  des nanostructures et se maintient au moins jusqu'à cette valeur, jusqu'à des valeurs beaucoup plus élevées, doubles ou triples du diamètre  $D$  et pouvant atteindre le quadruple du diamètre  $D$ . Par "quadruple du diamètre  $D$  des nanostructures", on entend le quadruple de la  
35 valeur du diamètre à une trentaine de pour cent près ( $\pm 30 \%$ ).



Les études des inventeurs ont montré qu'en fonction des conditions de croissance, la valeur seuil  $T_{Si}$  est égale à soixante à quatre-vingt pour cent de la valeur du diamètre  $D$  des nanostructures.

5           La figure 5 représente partiellement trois plans de nanostructures d'une couche selon l'invention. Comme l'illustre cette figure, lorsque l'épaisseur de silicium  $e_{Si}$  est supérieure au seuil  $T_{Si}$ , les nanostructures sont auto-organisées dans le volume de la couche selon un motif régulier de macroréseau dans  
10 la couche. En effet, comme cela a été indiqué précédemment, la répartition des nanostructures ou boîtes quantiques de germanium dans le silicium est alors parfaitement homogène. Les nanostructures d'un premier plan donné sont latéralement équidistantes des nanostructures d'un deuxième plan supérieur  
15 elles-mêmes équidistantes latéralement des nanostructures d'un troisième plan superposé. Si l'on considère un ensemble de trois plans successifs de nanostructures, celles-ci sont donc réparties selon un réseau régulier à maille tétragonale centrée. La surface de base de la maille est sensiblement carrée, les  
20 nanostructures d'un plan étant équidistantes, séparées d'une distance  $a$  sensiblement égale à l'écart latéral  $g$  multiplié par la racine carrée de deux. La hauteur  $b$  de la maille est sensiblement égale au double de l'épaisseur  $e_{Si}$ . Dans l'exemple considéré de nanostructures de germanium noyées dans du  
25 silicium, le côté  $a$  de la base carrée de la maille du macroréseau présente une valeur comprise entre 50 et 300 nm.

L'homme de l'art comprendra que la valeur de l'écart maximal  $g$  et donc du côté  $a$  de la base carrée de la maille du macroréseau est fixée essentiellement par les dimensions des  
30 nanostructures de germanium et en particulier par leur diamètre. Comme cela a été indiqué précédemment en relation avec la figure 3, on considère que des plans ondulés successifs sont formés dans de mêmes conditions de croissance épitaxiale. En pratique, les mesures des inventeurs ont montré que la valeur de l'écart

maximal  $g$  est de l'ordre du diamètre  $D$  des nanostructures à quelques pour cent près.

On notera également que, pour une couche donnée, les épaisseurs  $e_{Si}$  de silicium séparant deux plans ondulés successifs sont égales, choisies dans la plage allant du seuil  $T_{Si}$  au quadruple du diamètre des nanostructures.

Par ailleurs, les inventeurs ont déterminé que la dispersion des dimensions des nanostructures est alors extrêmement faible, inférieure à celle obtenue classiquement.

La figure 6 illustre, partiellement et schématiquement, la distribution de dimension des nanostructures. La courbe en traits pointillés représente la distribution de dimension des nanostructures dans la structure connue des figures 1 et 2. La courbe en traits pleins représente la distribution de dimension des nanostructures dans une couche selon la présente invention. La comparaison de ces deux courbes montre que la distribution des nanostructures dans une couche selon la présente invention est plus étroite.

Une couche semiconductrice monocristalline présentant un macroréseau régulier de nanostructures d'un matériau semiconducteur monocristallin dans un autre matériau semiconducteur monocristallin est susceptible de très nombreuses applications.

Par exemple, dans le domaine des télécommunications, la couche comportant le macroréseau selon la présente invention permet de former des dispositifs suffisamment sensibles et dans un domaine de longueurs d'ondes adéquat pour constituer des dispositifs de conversion signal lumineux/signal électrique.

Une couche selon la présente invention peut être utilisée comme détecteur ou comme émetteur d'un signal lumineux à partir d'une consigne électrique. La répartition régulière et homogène des nanostructures selon un macroréseau à maille tétragonale centrée et la faible dispersion des dimensions des nanostructures permet notamment d'obtenir une émissivité

optimale et stable à une longueur d'onde faiblement dispersée autour d'une longueur d'onde moyenne.

Une couche selon la présente invention peut également être utilisée comme source lumineuse en-dehors du domaine des télécommunications. Par exemple, une couche selon la présente invention peut être utilisée pour former une diode électroluminescente.

De plus, compte tenu du caractère régulier du macroréseau et du caractère homogène de distribution de la dimension des nanostructures, une couche selon la présente invention peut être utilisée pour former une source lumineuse cohérente telle qu'une source laser.

Une couche selon la présente invention peut être utilisée comme dispositif de piégeage de la lumière tel qu'un photodétecteur.

Le macroréseau de boîtes quantiques de la couche selon la présente invention peut également être utilisé comme filtre d'une onde sonore ou lumineuse.

Le macroréseau de la couche selon la présente invention est parfaitement stable, homogène et reproductible. Il peut également avantageusement être utilisé pour diffracter une onde. Par exemple, un tel macro-réseau peut constituer un diffracteur de Bragg susceptible d'être utilisé pour effectuer une collimation d'un faisceau.

L'homme de l'art saura adapter les conditions de fabrication décrites précédemment d'une couche semiconductrice comportant des plans ondulés de Stranski-Krastanow d'un premier matériau semiconducteur encapsulés dans un second matériau semiconducteur de telle façon que l'épaisseur du second matériau semiconducteur soit comprise selon la présente invention entre la valeur seuil  $T_{Si}$  et le quadruple du diamètre de nanostructures du premier matériau semiconducteur.

Selon un mode de réalisation, après la formation de la couche comportant de tels plans, on procédera à un recuit à une température de 700 à 900°C. Un tel recuit est destiné à

permettre une relaxation, c'est-à-dire une stabilisation et une homogénéisation de la structure cristalline.

L'homme de l'art saura également compléter la structure pour former tout dispositif désiré. Ainsi, dans le cas de dispositifs de conversion de signaux lumineux et électriques, l'homme de l'art saura compléter la structure au moyen de contacts électriques appropriés et, dans le cas d'un émetteur, d'une source d'excitation électrique.

Une couche selon la présente invention est susceptible d'autres applications.

Ainsi, une couche comportant un macroréseau selon la présente invention peut être utilisée comme couche intermédiaire de modification de paramètres cristallins d'un substrat.

En effet, la surface supérieure de silicium d'une couche comportant un macroréseau selon la présente invention présente un paramètre de maille supérieur à celui d'une couche de silicium seule. Ainsi, les inventeurs ont déterminé que le paramètre de maille moyen d'une couche de silicium encapsulant plusieurs plans ondulés de germanium est égal au paramètre d'une couche hétéroatomique de SiGe comportant de l'ordre de 30 à 50 % de germanium. Les inventeurs ont en outre déterminé qu'une telle modification du paramètre de maille du silicium est effectuée sur une épaisseur inférieure à celle d'une couche hétéroatomique de SiGe à proportion graduellement croissante de germanium permettant d'obtenir le même paramètre. Une couche de silicium comportant un macroréseau des nanostructures de germanium peut alors être utilisée en tant que tout ou partie d'un pseudo-substrat, c'est-à-dire d'un substrat de silicium contraint (silicium à maille élémentaire agrandie).

De plus, les inventeurs ont déterminé que la surface supérieure d'un tel pseudo-substrat présente un taux de défauts réduit. En effet, le décalage des nanostructures de germanium d'un niveau à l'autre du macroréseau permet avantageusement de réduire la propagation verticale de dislocations. Ainsi, si une dislocation se crée dans une couche de silicium intermédiaire

entre deux plans de nanostructures, elle tend à se propager verticalement de façon connue. Lors du déplacement des nanostructures sur le plan supérieur, une nanostructure peut venir se placer sur le chemin de propagation de la dislocation et donc l'interrompre.

Un tel pseudo-substrat est susceptible de très nombreuses applications. En effet, dans un système cristallographique donné, dans lequel la maille élémentaire a une dimension déterminée, les caractéristiques électroniques et notamment la mobilité des porteurs (électrons/trous) sont déterminées. On a montré qu'il pouvait être souhaitable de modifier les paramètres de maille pour optimiser des caractéristiques électroniques. En particulier, dans le cas du silicium, on a montré que, si on augmentait la dimension de la maille élémentaire (la valeur du paramètre de maille), on rendait possible la réalisation de composants élémentaires aux propriétés électroniques améliorées.

La figure 7 illustre, en vue en coupe partielle et schématique, la formation, sur un substrat 10 de silicium monocristallin, d'un pseudo-substrat 11 et d'une couche 12 de silicium dans laquelle doivent être formés des composants électroniques.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le pseudo-substrat 11 comprend une partie inférieure 14 reposant sur le substrat 10 et une partie supérieure 16 sur laquelle repose la couche 12. La partie inférieure 14 est constituée de plusieurs plans P1, P2 et P3 de nanostructures de germanium encapsulées dans du silicium. La partie supérieure 16 est constituée d'une couche hétéroatomique de SiGe comportant une proportion graduellement croissante de germanium. L'épaisseur t14 de la partie inférieure 14 est inférieure à l'épaisseur d'une couche graduelle de SiGe présentant une proportion de 50 % de germanium en surface. L'épaisseur t16 de la partie supérieure 16 est ajustée pour obtenir le paramètre de maille correspondant à une proportion donnée de germanium dans un réseau de silicium,

comprise entre 50 et 100 %. L'épaisseur globale du pseudo-substrat 11 est donc avantageusement plus faible que celle d'une simple couche graduelle.

La nécessité de mettre en oeuvre une croissance de type Stranski-Krastanow des plans de nanostructures n'allonge pas les temps de fabrication car elle peut être effectuée dans le réacteur d'épitaxie utilisé pour la croissance de la couche graduelle. En pratique, le temps nécessaire pour faire croître les quelques plans de nanostructures nécessaires est inférieur au temps nécessaire pour faire croître un pseudo-substrat de même paramètre de maille final. En pratique, le nombre de plans de nanostructures est de l'ordre de un à quinze, de préférence de un à dix pour limiter le plus possible la propagation verticale de dislocations.

En termes de défauts, les inventeurs ont déterminé que la densité surfacique de défauts de la partie inférieure 14 est alors réduite, et est de l'ordre de  $10$  à  $10^3/\text{cm}^2$  au lieu de  $10^4$  à  $10^6/\text{cm}^2$  pour une couche graduelle (2, figure 1). Comme cela sera détaillé ci-après en relation avec les figures 3A-C et 4, une telle réduction est liée à un arrêt de la propagation verticale des dislocations dans le silicium sur les nanostructures.

On notera que la couche 12 peut être formée directement sur une couche 11 constituée uniquement de sa partie inférieure 14 comprenant un macroréseau de nanostructures de germanium dans du silicium.

Selon une variante, la dernière couche de silicium de la partie inférieure 14 peut être utilisée directement comme substrat à la place de la couche 12.

En outre, le macroréseau se traduit à l'aplomb des nanostructures du dernier plan par des plots ayant la forme d'une pyramide facettée tronquée. Lorsque l'épaisseur de silicium  $e_{Si}$  est supérieure au seuil  $T_{Si}$ , en vue de dessus, les pyramides sont "auto-organisées" en surface sous une forme régulière en un damier régulier dont les dimensions des cases

sont de l'ordre du diamètre  $D$  des nanostructures. En deçà du seuil  $T_{Si}$ , l'auto-organisation est moins régulière, les plots ou les écarts entre les plots ayant une dimension, en vue de dessus, supérieure au diamètre  $D$ . Une telle surface régulière  
5 peut être avantageuse dans un certain nombre d'applications.

Un exemple d'une telle application est la réalisation de mémoire utilisant des transistors de type MOS comportant une grille flottante. En effet, dans un tel dispositif, on a constaté qu'il était souhaitable que la grille flottante du  
10 transistor soit constituée d'éléments conducteurs distincts noyés dans une couche isolante. Pour ce faire, on pourra avantageusement utiliser un pseudo-substrat à multi-plan selon la présente invention. Ainsi, on procède à une oxydation du silicium puis au dépôt d'un matériau conducteur. Lors de  
15 l'oxydation, la forme irrégulière de la surface comportant des plots pyramidaux facettés tronqués est conservée. Les plots ou les dépressions entre les plots servent alors de points de nucléation de nanocristaux lors du dépôt ultérieur. Ces nanocristaux constituent alors la grille flottante.

20 Selon une variante, l'oxyde est un isolant à forte permittivité diélectrique.

Bien entendu, la présente invention est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, les dimensions des nanostructures et  
25 des couches de silicium séparant deux plans de nanostructures peuvent être modifiées de toute façon appropriée, pour autant que l'épaisseur de silicium demeure dans la plage définie. De plus, la présente invention n'est pas limitée aux exemples particuliers de la description précédente. En particulier, la  
30 nature des matériaux considérés précédemment peut être modifiée. Ainsi, on a considéré que la couche selon l'invention est formée sur un substrat monocristallin semiconducteur de silicium. Toutefois, le substrat pourrait être un substrat de silicium-germanium ou de germanium. De même, on a considéré une couche  
35 comprenant des nanostructures de germanium noyées dans du

silicium, toutefois la présente invention concerne également une couche de nanostructures de silicium noyées dans du germanium. De plus, la présente invention ne se limite pas à une filière à base de silicium, mais s'applique à toute filière technologique  
5 utilisant une couche de nanostructures semiconductrices monocristallines d'un matériau donné noyées dans un autre matériau semiconducteur monocristallin, l'un des deux matériaux étant un alliage binaire ou ternaire d'éléments choisis parmi les matériaux de la colonne III de la classification périodique  
10 des éléments et l'autre matériau étant un autre alliage binaire ou ternaire d'éléments choisis parmi les matériaux de la colonne V. Une telle couche serait par exemple une couche de nanostructures d'un alliage d'indium, de gallium et d'arsenic (InGaAs) dans un substrat d'arséniure de gallium (GaAs) ou de  
15 phosphure d'indium (InP).



**REVENDICATIONS**

1. Couche monocristalline d'un premier matériau semiconducteur (5) comportant des nanostructures monocristallines d'un second matériau semiconducteur (3), dans laquelle les nanostructures sont réparties selon un réseau cristallographique régulier à maille tétragonale centrée.  
5
2. Couche selon la revendication 1, dans laquelle le premier matériau semiconducteur (5) est le silicium et le second matériau semiconducteur (3) le germanium.
3. Couche selon la revendication 2, dans laquelle la  
10 hauteur (b) de la maille tétragonale est égale à la somme de deux valeurs élémentaires ( $e_{s1}$ ) égales choisies dans une plage allant de 60 à 80 % du diamètre (D) des nanostructures jusqu'au quadruple dudit diamètre.
4. Couche selon la revendication 2 ou 3, dans laquelle  
15 la base plane de la maille tétragonale centrée est sensiblement carrée et présente un côté d'une valeur (a) comprise entre 50 et 300 nm.
5. Source lumineuse, comportant une couche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 associée à un circuit  
20 d'excitation électrique.
6. Source selon la revendication 5, formant une source cohérente.
7. Source selon la revendication 5 ou 6, formant une diode.
- 25 8. Dispositif de piégeage de lumière, comportant une couche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.
9. Photodétecteur, comportant un dispositif selon la revendication 8.
10. Diffracteur d'une onde lumineuse ou acoustique,  
30 comportant une couche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.
11. Filtre optique ou acoustique, comportant une couche selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

1/2

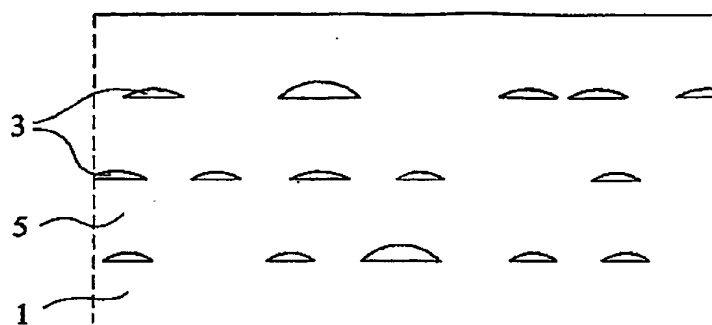


Fig 1

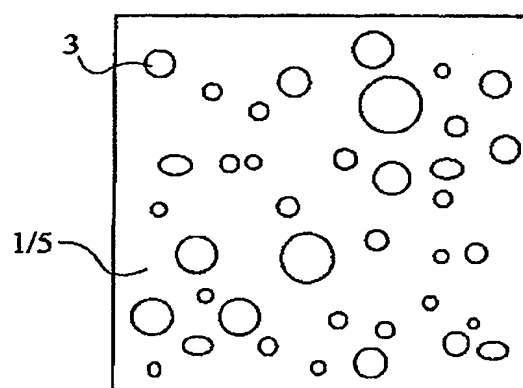


Fig 2

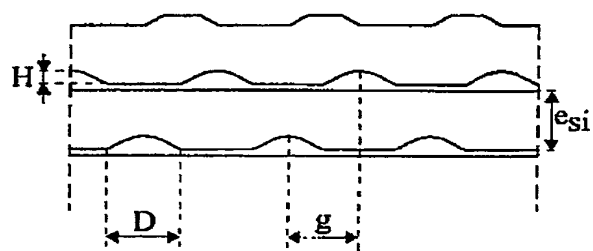


Fig 3

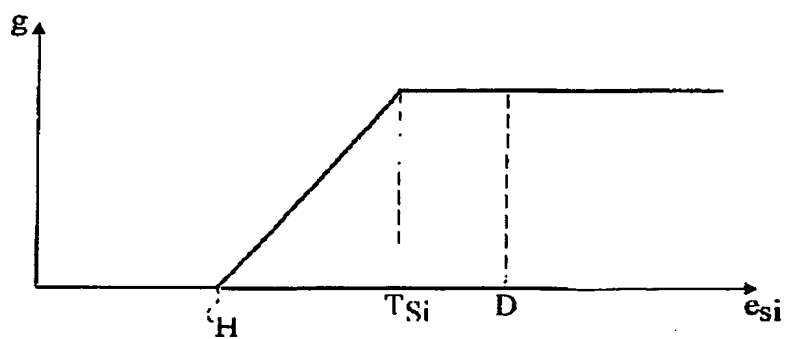


Fig 4

2/2

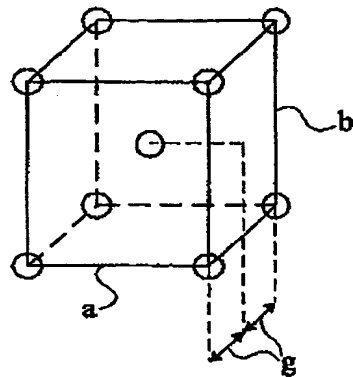


Fig 5

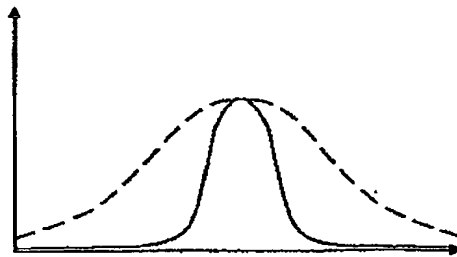


Fig 6

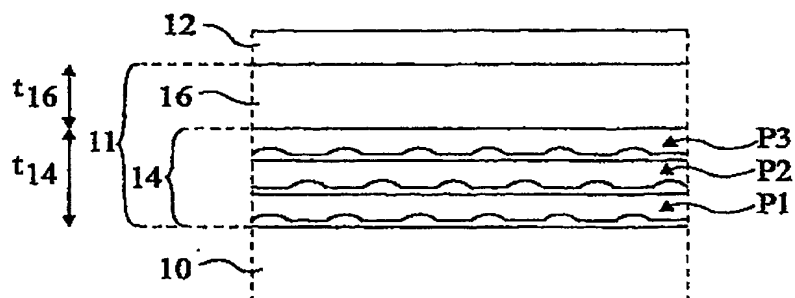


Fig 7